

車載 Ethernet 向け TVS の EMC 試験

目次

目次.....	2
1. はじめに.....	4
2. ESD	4
2.1. ESD とは.....	4
2.2. システムレベル試験.....	4
2.3. ESD 保護素子.....	6
2.4. 車載ネットワークにおける ESD 保護素子.....	7
3. 車載 Ethernet EMC 要求.....	7
3.1. OA による推奨回路例.....	8
3.2. データシートパラメータの評価.....	8
4. ESD 保護素子に対する EMC 試験.....	9
4.1. 一般.....	9
4.2. Mixed Mode S-parameter 測定.....	9
4.2.1. 試験手順とパラメータ Mixed Mode S-parameter 測定.....	10
4.3. ESD ダメージ試験.....	11
4.3.1. 試験セットアップと試験基盤例.....	11
4.3.2. 試験手順とパラメータ.....	11
4.4. RF イミュニティ試験時のクランピング.....	12
4.4.1. 試験セットアップ.....	12
4.4.2. 試験手順とパラメータ.....	12
4.5. ESD Discharge Current 測定.....	13
4.5.1. 試験セットアップと試験基板例.....	13
4.5.2. 試験手順とパラメータ.....	14
変更履歴.....	15
製品取り扱い上のお願い.....	16

図目次

図 2-1: IEC 61000-4-2 試験.....	4
図 2-2: IEC 61000-4-5 試験.....	5
図 2-4: ESC パルス心中時の動作イメージ.....	6
図 2-3: 通常時の動作イメージ図.....	6
図: 2-5 ESD 保護ダイオード 動作範囲.....	6
図 2-6: 周波数に対する ESD 保護用ダイオード 選択の目安.....	7
図 3-1: Open Alliance による推奨回路例.....	8
図 4-1: 100BASE-T1 および 1000BASE-T1 MDI インターフェースにおける ESD 保護素子の配置例...9	
図 4-2: ESD 保護素子の S-parameter 測定セットアップ.....	9
図 4-3: 4-port 試験基板の設定とポート定義.....	10
図 4-4: 3-port 試験基板の設定とポート定義.....	10
図 4-5: ESD ダメージ試験のセットアップ.....	11
図 4-6: RF クランピング試験のセットアップ.....	12
図 4-7: ESD クランピング試験回路図.....	12
図 4-8: ESD Discharge Current 試験セットアップ.....	13
図 4-9: ESD Discharge Current 試験回路図.....	14

表目次

表 3-1: ESD 保護素子に対する要求仕様.....	8
------------------------------	---

1. はじめに

工業・商業用途には、幅広く Ethernet 規格が適用されていますが、その適用範囲は車載にも広がりつつあります。車載用 Ethernet プロトコル規格は、100BASE-T1 が IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 802.3bw、1000BASE-T1 が IEEE 802.3bp として規格化されています。

これらの規格に加えて EMC に関連する要求が、OPEN (One Pair Ether-Net) Alliance コンソーシアムによって追加され、仕様書として発行されています。

さらに、IEC (International Electrotechnical Commission) では、Ethernet Transceiver の EMC 試験方法が IEC 62228-5 として国際規格化されていますが、この規格の中では、Ethernet アプリケーションに使用される ESD 対策デバイスに対する要求が含まれており、OPEN Alliance の仕様書とほぼ同じ内容となっています。

本アプリケーションノートでは、ESD の基礎的項目から Ethernet アプリケーションに対する ESD 対策デバイスについて解説をします。また、Open Alliance および IEC による ESD 対策デバイスに対する EMC 試験仕様について説明します。

2. ESD

2.1. ESD とは

静電気は誘電体などに電荷が蓄積されている状態を指します。正の電荷が蓄積した物体と負の電荷が蓄積した物体が接触や近接すると静電気の放電が行われます。この現象を静電気放電 (ESD: Electro Static Discharge) と呼びます。人体と電子機器が接触して発生する ESD の電圧は数千 V に達することもあります。

2.2. システムレベル試験

この試験は日常の環境下で機器が劣化や破壊しないことの確認を目的に設定しています。

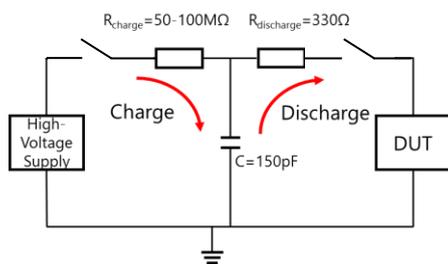
① IEC 61000-4-2 試験 (ESD イミュニティ試験:人体モデル)

この試験は HBM (Human Body Model) と同様に人体に蓄電した電荷が放電すること想定しています。放電方法には以下の二つがあります。

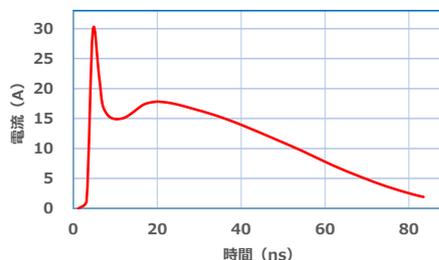
- ・機器やデバイスの表面に金属が露出しているときを想定し、直接接触により放電する直接放電
- ・機器やデバイスの表面が樹脂などに覆われているときを想定し、被試験機器と放電端子の間に空気層を持つ気中放電

これらの方法は IEC 61000-4-2 に述べられています。

当社の TVS ダイオード(ESD 保護用ダイオード)は直接放電と気中放電の両方で試験しています。



試験回路例



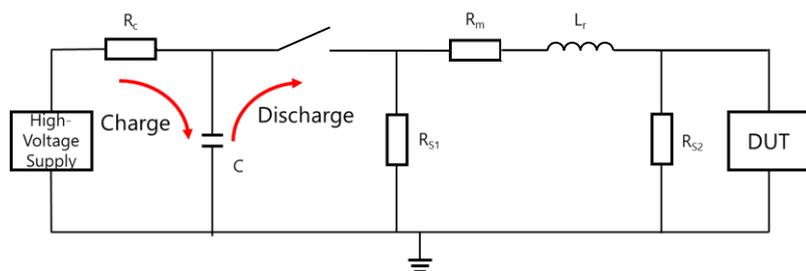
試験波形例

図 2-1: IEC 61000-4-2 試験

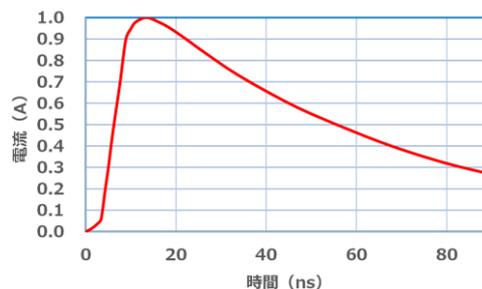
② IEC 61000-4-5 試験 (サージイミュニティ試験:雷サージ試験)

この試験は雷サージ試験とも呼ばれ、落雷の影響によってその周辺で誘起されるサージ電圧/電流などをモデル化した試験です。また電源の投入時など負荷の急変や短絡を含む電力システムのスイッチング過渡現象なども含まれます。印加するサージの電流レベルや周期を考慮すると、最も厳しいシステムレベルのイミュニティ試験です。

これらの方法は IEC 61000-4-5 に述べられています。



試験回路例



試験波形例

図 2-2: IEC 61000-4-5 試験

2.3. ESD 保護素子

ESD 保護用ダイオードの動作について説明します。

ESD パルスが侵入していないとき（機器にとっての通常動作時）は保護素子が接続されていない状態つまり何の影響も与えない状態が理想です。ESD 保護用ダイオードは、図のようにカソードを信号ラインに、アノードを GND に接続します。このように接続することにより、機器の通常動作時には ESD 保護用ダイオードは動作しません。

ESD パルスが侵入したときには、ESD 保護用ダイオードが導通し ESD パルスが保護対象の IC 等へ到達しないようにする必要があります。コネクタから見ると ESD 保護用ダイオードと保護対象が並列に見えます。従って、ESD 保護素子のインピーダンスが低く、侵入したエネルギーのほとんどが保護素子に流れることが重要となります。

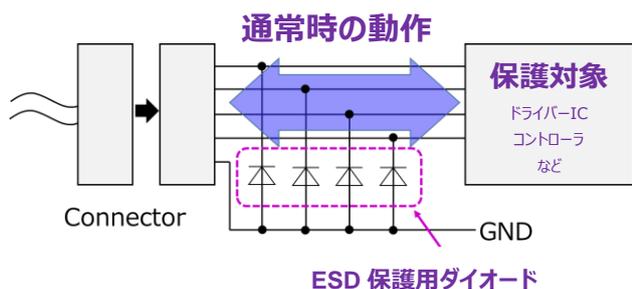


図 2-4: 通常時の動作イメージ図

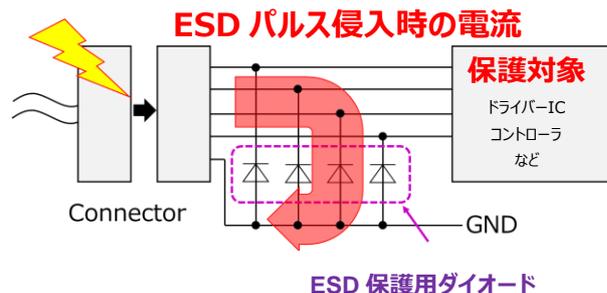


図 2-3: ESC パルス心中時の動作イメージ

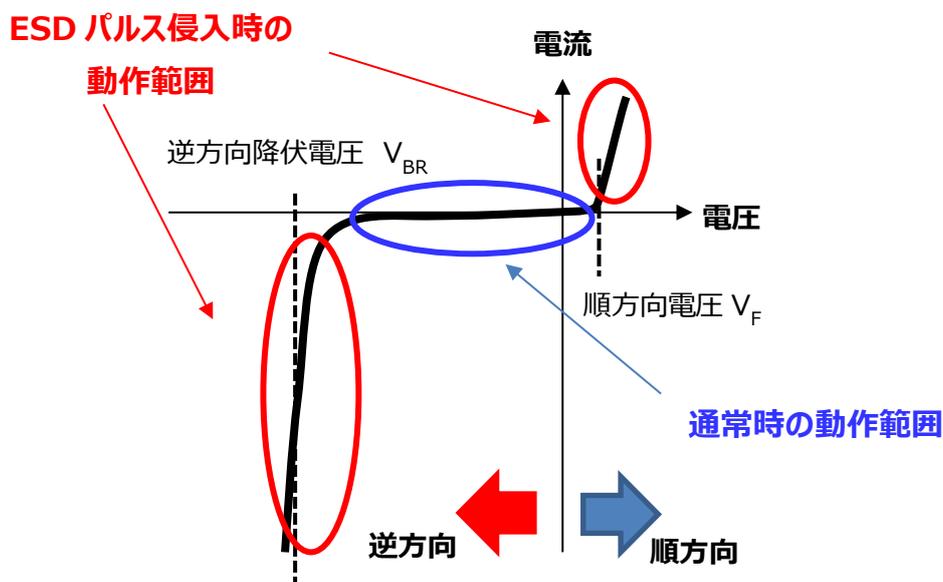


図: 2-5 ESD 保護ダイオード 動作範囲

2.4. 車載ネットワークにおける ESD 保護素子

車両内の ECU やデバイス間の通信手段として、通信に要求される特徴や最大通信速度、データ量などにより、複数の通信規格が制定されています。それぞれの通信規格に基づき、適切な耐圧と端子間容量を持つ ESD 保護素子を選定する必要があります。図 2-6 に各通信プロトコルに対応した選択の目安を示します。

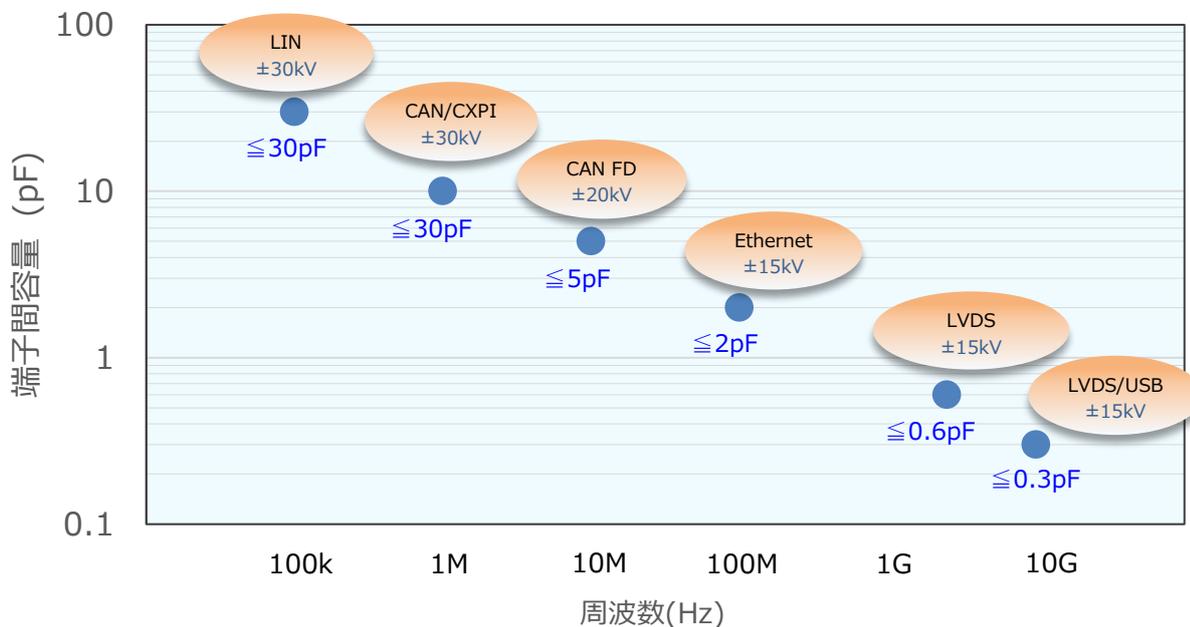


図 2-6: 周波数に対する ESD 保護用ダイオード 選択の目安

3. 車載 Ethernet EMC 要求

車載 Ethernet の標準化コンソーシアムである Open Alliance では、EMC に関する以下の仕様書が策定され、公開されています。（以下の Open Alliance の Web サイトより、License Agreement に同意することにより、ダウンロードが可能です。<https://www.opensig.org/Automotive-Ethernet-Specifications/>）

- 100BASE-T1 EMC Test Specification for Common Mode Chokes
- 100BASE-T1 EMC Test Specification for Transceivers
- 100BASE-T1 EMC Test Specification for ESD Suppression Devices
- 1000BASE-T1 EMC Test Specification for Common Mode Chokes
- 1000BASE-T1 Transceiver EMC Specification
- 1000BASE-T1 ESD Device Test Specification

また、車載 Ethernet 用トランシーバの EMC 評価の国際規格は以下の規格が発行されています。

- IEC 62228-5 Integrated circuits – EMC evaluation of transceivers – Part.5: Ethernet transceivers

本規格では、100BASE-T1, 100BASE-TX, 1000BASE-TX に対する、試験条件、試験方法やセットアップなどが定義されていますが、Ethernet システムで使用される CMC (Common Mode Choke) と ESD 保護素子に対しては、これらの特性がトランシーバの EMC 性能へ大きく影響することから、試験前に使用される部品の特性を確認することが、以下の Annex にて設定されています。

- Annex E: Characterization of common mode chokes for EMC evaluation of Ethernet transceivers
- Annex F: Characterization of ESD suppression devices for EMC evaluation of Ethernet transceivers

IEC の規格では、トランシーバ IC の EMC 評価規格の一部として、試験時に使用される CMC と ESD 保護素子に対する EMC 特性の要求となっています。これらは、Open Alliance 仕様書とほぼ同等の試験要求となっています。

3.1. OA による推奨回路例

OPEN Alliance による、周辺部品を含めた推奨回路例を図 3-1 に示します。

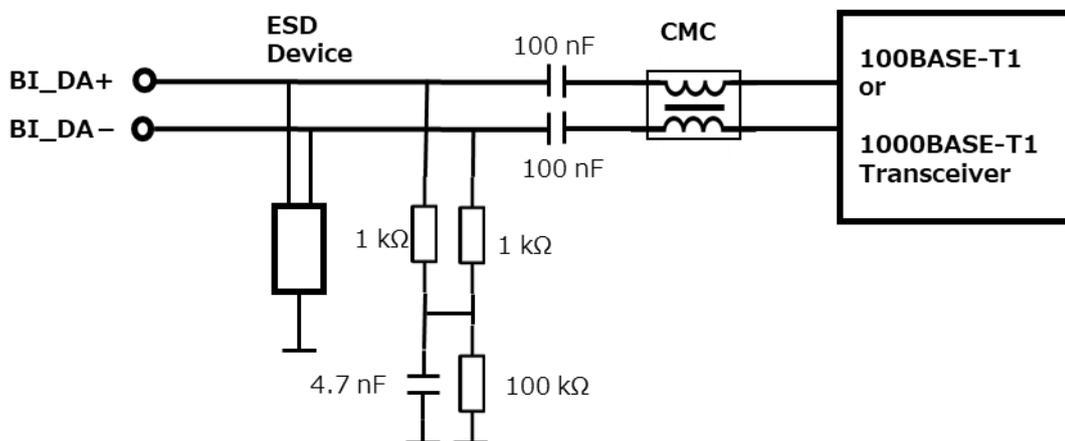


図 3-1: Open Alliance による推奨回路例

3.2. データシートパラメータの評価

車載 Ethernet 用 TVS ダイオードには、表 3-1 に示すパラメータに対する特性が要求され、データシートへの記載が必要となります。

表 3-1: ESD 保護素子に対する要求仕様

パラメータ	要求値
差動方向	Bi-directional
動作電圧 (V_{DCmax})	≥ 24 V
ESD トリガ電圧	≥ 100 V
ESD 堅牢性	ISO 10605 準拠 (充放電容量 150 pF、放電抵抗 330 Ω の放電モジュールを使用し、非通電状態で ± 15 kV の接触放電を実施)
最低限の放電回数	1000 回
TLP 特性評価 (IEC 62615 を参照)	I/V 特性

4. ESD 保護素子に対する EMC 試験

4.1. 一般

Ethernet ネットワークの EMC 試験は、実アプリケーションを想定した ESD 保護素子が使用されるネットワークで行うため、ネットワーク全体の EMC 特性を悪化させない ESD 保護素子単体に対する特性の確認が要求されています。

特性の評価方法として、以下の 4 つの試験が定義されています。

- Mixed mode S-parameter 測定
- ESD ダメージ試験
- RF イミュニティ試験時のクランピング効果
- 100(0)Base-T1 ネットワークでの ESD Discharge Current 測定

これらの測定は、100BASE-T1 もしくは 1000BASE-T1 の MDI インターフェースを想定したネットワークを用いて試験を行います。

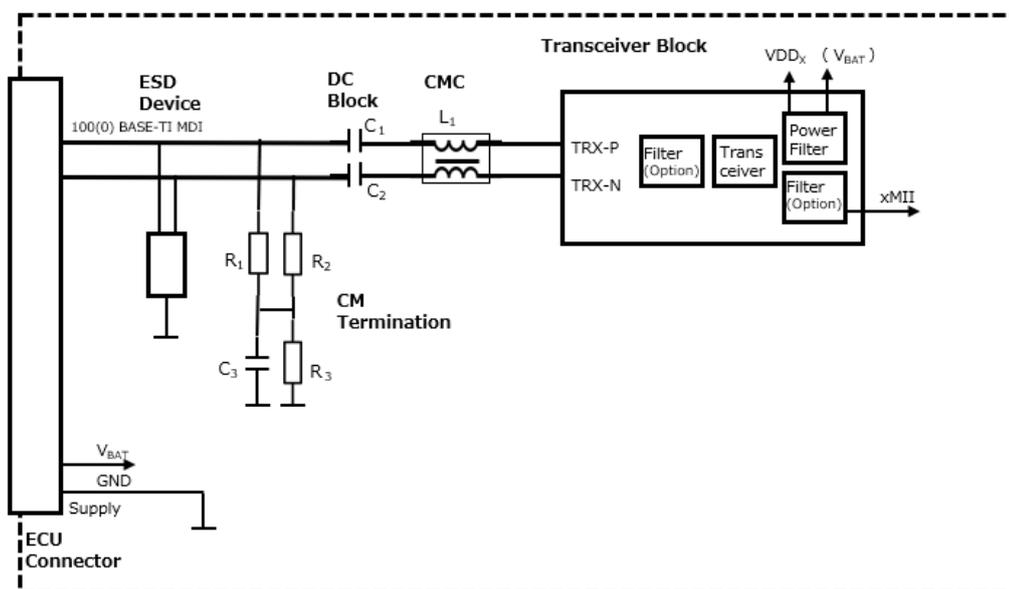


図 4-1: 100BASE-T1 および 1000BASE-T1 MDI インターフェースにおける ESD 保護素子の配置例

4.2. Mixed Mode S-parameter 測定

専用試験基板を準備し VNA にて、Mixed Mode の S-parameter を測定します。ESD 保護素子による、信号特性への影響を確認します。試験セットアップを図 4-2 に示します。

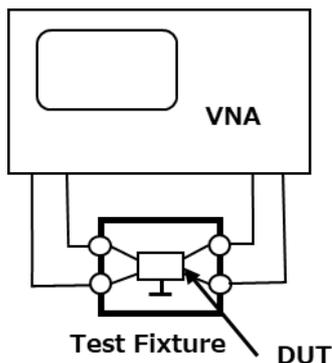


図 4-2: ESD 保護素子の S-parameter 測定セットアップ

測定するパラメータと周波数範囲は以下の通りです。各項目 10 サンプルを測定し記録します。

3 ポート測定

- Ssd21 (DCMR) Logarithmic magnitude in dB 1 MHz ~ 1 GHz

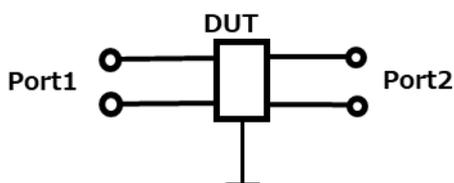
4 ポート測定

- Sdd11 (RL) , Logarithmic magnitude in dB 1 MHz ~ 1 GHz
- Sdd21 (IL) , Logarithmic magnitude in dB 1 MHz ~ 1 GHz

*IEC 規格での測定周波数範囲は、0.3 MHz ~ 1 GHz

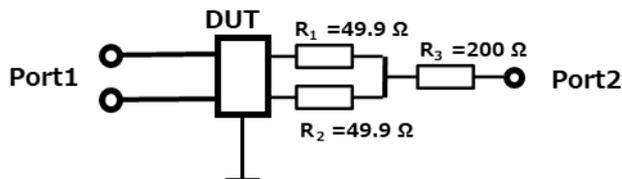
4.2.1. 試験手順とパラメータ Mixed Mode S-parameter 測定

測定時の Port 設定は図 4-3、4-4 に従って行います。



- Port1, Port2 50Ω Input Impedance

図 4-3: 4-port 試験基板の設定とポート定義



- Port1 Differential mode input, 50Ω Input Impedance
- Port2 Common mode output, Symmetrical single ended network 200Ω Impedance

図 4-4: 3-port 試験基板の設定とポート定義

4.3. ESD ダメージ試験

4.3.1. 試験セットアップと試験基盤例

ESD 印加前後での S-parameter を比較し、信号特性への影響を確認します。試験セットアップを図 4-5 に示します。また試験系への要求は以下の通りです。

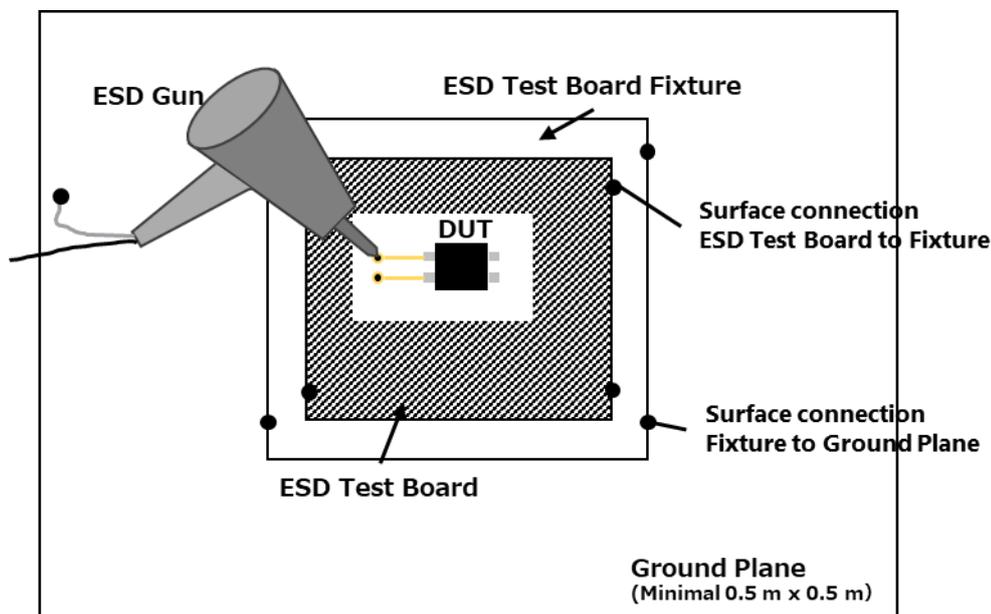


図 4-5: ESD ダメージ試験のセットアップ

- ・ 最小 0.5 m x 0.5 m のリファレンスグランドプレーン
- ・ リファレンスグランドプレーンは、試験所のグランドへ接続
- ・ ESD Generator グランドはリファレンスグランドプレーンに接続
- ・ 試験基板はリファレンスグランドプレーンに 25 mΩ 以下の低インピーダンスで接続
- ・ ESD Generator は基板上のポイントにダイレクトに印可
- ・ 印加ポイントから ESD 保護素子までは 15 mm - 0/+5) にて接続
- ・ ESD Generator の空間を通じた寄生結合を減らすために、部品は印加面と反対側に配置し、金属テストフィクスチャ内に配置することが推奨

4.3.2. 試験手順とパラメータ

試験時には、ESD ガンより、試験基板上的の印加点 (DP1 および DP2) 接触放電を行います。3 サンプルの試験を行い、記録します

試験手順は以下の通り

- 1) ESD 放電印加前に S-parameter を測定
- 2) 印加点 1(DP1)に 5 秒間隔で±8 kV を 20 回印加
- 3) 印加点 2(DP2)に 5 秒間隔で±8 kV を 20 回印加
- 4) 基準に基づき、影響を評価
- 5) 印加点 1(DP1)に 5 秒間隔で±15 kV を 20 回印加
- 6) 印加点 2(DP2)に 5 秒間隔で±15 kV を 20 回印加
- 7) 基準に基づき、影響を評価

ESD ダメージ有無の判定基準

- 1) S-parameter 測定 Sdd11 および Scd21 200 MHz 以下の周波数帯域で 1 dB 以内の変化
- 2) S-parameter 測定 Sdd21 200 MHz 以下の周波数帯域で、0.1 dB 以内の変化

4.4. RF イミュニティ試験時のクランピング

4.4.1. 試験セットアップ

イミュニティ試験時に、ESD 保護素子のクランピングが発生しないことを確認する為に、RF ジェネレータ、RF アンプ、RF パワーメータ（双方向結合器つき）を用いた試験を実施します。

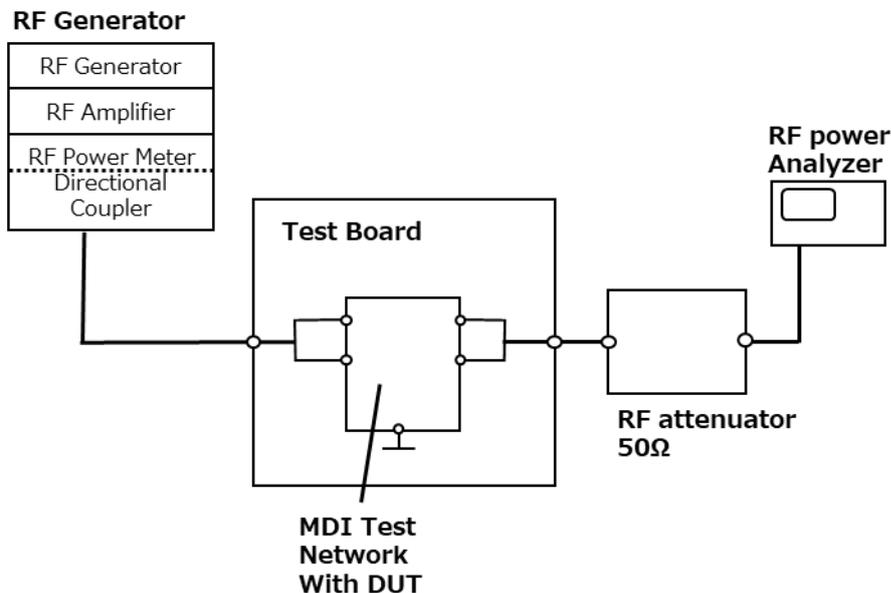


図 4-6: RF クランピング試験のセットアップ

4.4.2. 試験手順とパラメータ

試験時は、図 4-7 に従い MDI 試験ネットワークに対して、妨害波電力を印加します

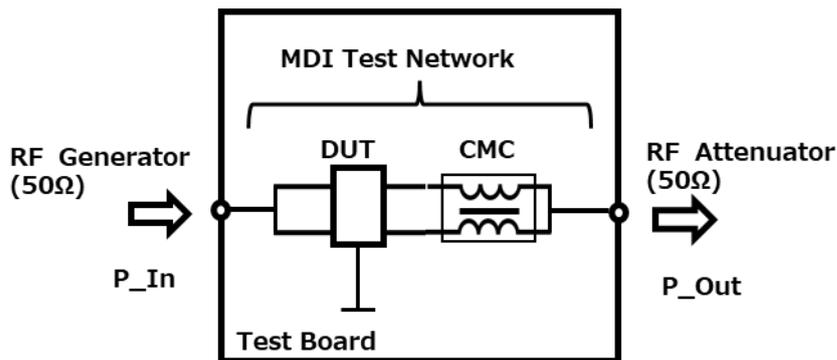


図 4-7: ESD クランピング試験回路図

試験手順は以下の通り

- 1) 20 dBm を印加したとき CMR(Common Mode Rejection)を基準として測定します。
- 2) Class1 レベルの印加後の CMR を測定します。
- 3) Class2 レベルの印加後の CMR を測定します。
- 4) Class3 レベルの印加後の CMR を測定します。

評価基準

印加後の CMR が、20 dBm 印加時の基準値からの変化が 1 dB 以内であること

4.5. ESD Discharge Current 測定

4.5.1. 試験セットアップと試験基板例

ESD 印加時に、トランシーバ PHY に流れる残留電流を評価します。試験セットアップを図 4-8 に示します。また試験系への要求は以下の通りです。

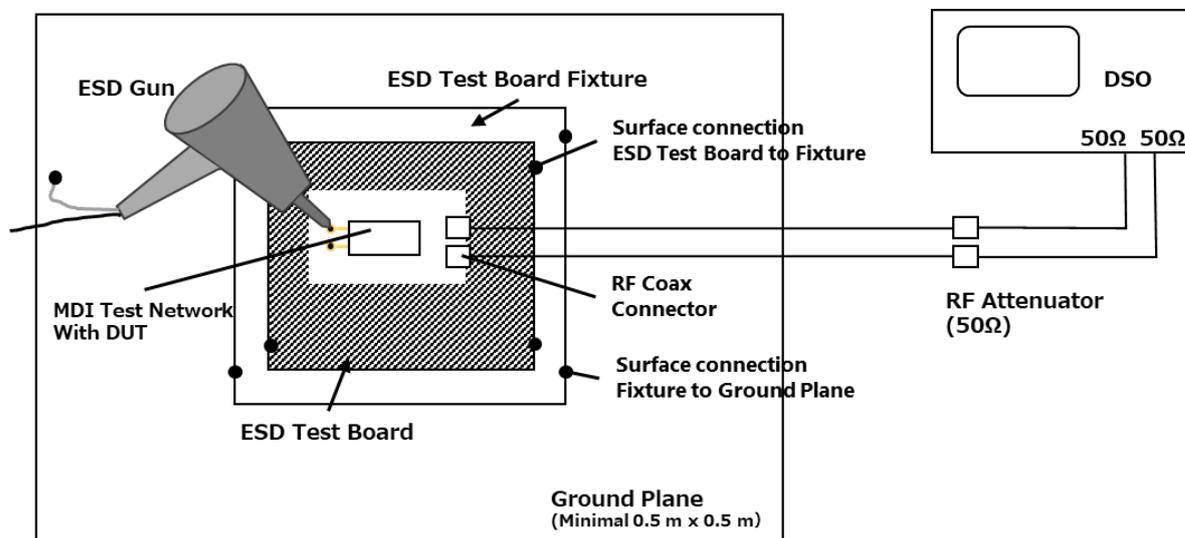


図 4-8: ESD Discharge Current 試験セットアップ

- ・ 最小 0.5m x 0.5m のリファレンスグランドプレーン
- ・ リファレンスグランドプレーンは、試験所のグランドへ接続
- ・ ESD Generator グランドはリファレンスグランドプレーンに接続
- ・ 試験基板はリファレンスグランドプレーンに 25 mΩ 以下の低インピーダンスで接続
- ・ ESD Generator は基板上のポイントにダイレクトに印可
- ・ 印可ポイントから ESD 保護素子までは 15 mm (-0/+5) にて接続

4.5.2. 試験手順とパラメータ

図 4-9 の通り MDI 試験ネットワークを試験基板上に実装し、以下の電圧を印加したときの電流をオシロスコープにて測定します。3 サンプルの試験を行い、記録します

印加電圧 $\pm 3\text{ kV}$ 、 $\pm 5\text{ kV}$ 、 $\pm 6\text{ kV}$ 、 $\pm 7\text{ kV}$ 、 $\pm 15\text{ kV}$
 評価基準 ネットワーク通過後の電流値が基準以下となること

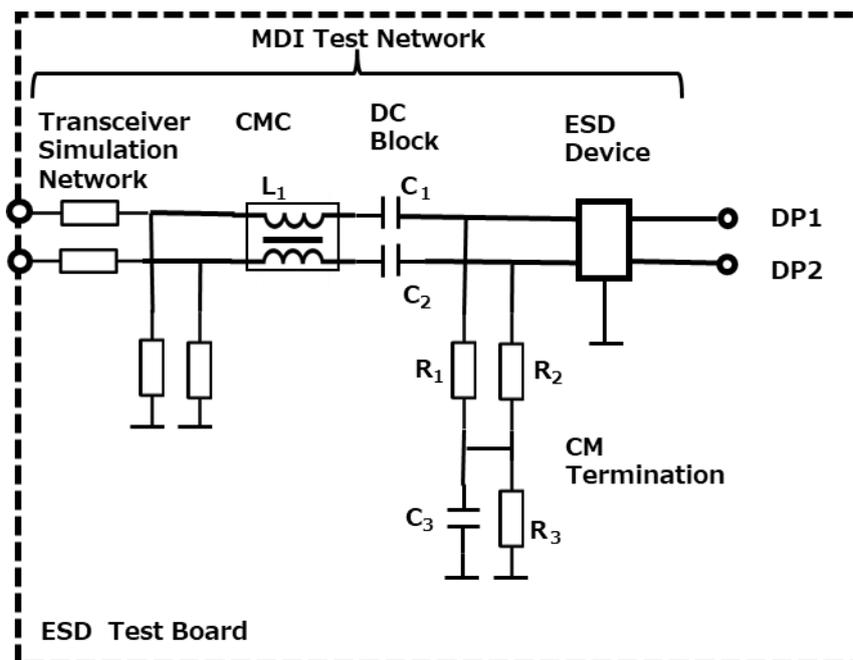


図 4-9: ESD Discharge Current 試験回路図

参照国際規格

IEC 61000-4-2:2008, Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-2: Testing and measurement techniques-Electrostatic discharge immunity test

IEC 61000-4-5:2005, Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-5: Testing and measurement techniques-Surge immunity test

IEC 62228-5:2021, Integrated circuits - EMC evaluation of transceivers -Part 5: Ethernet transceivers

IEEE 100BASE-T1 EMC Test Specification for Common Mode Chokes, Version 2.0

IEEE 100BASE-T1 EMC Test Specification for Transceivers, Version 2.0

IEEE 100BASE-T1 EMC Test Specification for ESD suppression Devices, Version 2.0

IEEE 1000BASE-T1 EMC Test Specification for Common Mode Chokes, Version 2.0

IEEE 1000BASE-T1 EMC Test Specification for Transceivers, Version2.1

IEEE 1000BASE-T1 EMC Test Specification for ESD suppression Devices, Version1.0

変更履歴

バージョン情報	日付	変更内容
Rev. 1.0	2023-11-15	初版

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないよう、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いいたします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/>